

도재용착용 Non beryllium 합금의 degassing과 opaque의 소성술식에 따른 결합강도 분석

임종재, 이상혁*

¹호서대학교 벤처대학원 융합공학과

Shear bond strength analysis of non beryllium PFM metal with degassing and opaque firing techniques

Joong-Jae Im¹, Sang-Houck Lee^{1*}

¹Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University

요약 본 연구는 베릴륨 함유하지 않은 Ni-Cr계 도재용 금속에 전용도재를 도포, 소성된 시편을 3점 굴곡 시험으로 결합강도를 측정하고, SAM/EDS로 표면성분관찰 실험한 AVOVA와 Tukey HSAD 사후검정을 실시한 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 모든 군에서 ISO 9693의 치과용 금속-도재 시편의 최소 결합강도의 최소치인 25 MPa의 전단결합강도를 상회하며 안정적인 결과값을 나타냈다. 둘째, 결합 강도는 대조군 V1은 32.37±1.91 MPa으로 나타났고, 실험군 V2 38.25±1.38 MPa, 실험군 V3 46.43±2.14 MPa, 그리고 실험군 V4 47.21±1.72 MPa, 순으로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 사후 검정 (Tukey's HSD test) 결과, 결합강도 실험결과 실험군 V4는, 대조군 V1보다 높게 나타났다. 셋째, 금속-도재의 결합에서 산화처리를 시행한 군보다 시행하지 않고 불투명 도재를 도포하고 소성한 군이 높게 나타났으며, paste불투명 도재보다 분말 불투명도재의 사용에 따른 결합강도가 더 높게 나타났다. 넷째, 실험군 V4는 금속과 도재의 결합강도 비교에서 가장 높게 나타났다.

Abstract This study is to compare the differences of bonding strength based on the Degassing temperatures and various opaque materials for *Ni-Cr alloy specimen* which does not contain beryllium(*Be*). Numerous comparison tests have been performed to measure the bonding strength by experimenting 3-point flexural rigidity tests in order to find out ways of stabilization and enhancement of bonding strength between metal and porcelain. AVOVA, surface component observation experiment by SAM/EDS, and Tukey's HSAD posteriori tests results are as follows: First, The bonding strength in all groups has exceeded the minimum (25MPa) of ISO9693 bonding strength regulation for dental metal-porcelain specimen. Second, The bonding strength of Group V1 was 32.37±1.91 MPa, 38.25±1.38 MPa in Group V2, 46.43±2.14 MPa in Group V3 and 47.21±1.72 MPa Group V4. The difference has been statistically meaningful. Tukey's HSAD posteriori tests results have shown that the bonding strength in Group V4 was higher than that of Group V1. Third, the bonding strength between metal and porcelain without degassing process was higher than that of with degassing process, and the bonding strength of powder opaque was higher than that of paste opaque. Fourth, Group V4 has ranked the highest on the comparison table of metal and porcelain bonding strength.

Keywords : Degassing, Metal-ceramic, Metal Shear bond strength, Opaque material

*Corresponding Author : Sang-Houck Lee(Graduate School of Venture, Hoseo Univ.)

Tel: +82-2-2059-2351 email: Isen@hoseo.edu

Received April 14, 2015

Revised (1st June 18, 2015, 2nd June 22, 2015)

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

1. 서론

치과보철물중 도재소부금관의 제작과정에서 발생되는 Be증기와 분진이 만성 염증성 폐질환인 Berylliosis를 유발할 수 있다고 보고되고[1], 최근 국내에서는 0.02% 이상의 베릴륨(Be)을 함유한 치과용 합금의 사용이 금지되면서 이에 따라 베릴륨 비합유(no-bellium)한 금속은 금속과 도재의 결합강도에 많은 문제점을 야기하고 있다.[2]

치과용 도재를 금속에 용착 시키기 위한 금속-도재(metal-ceramic)합금 중 Ni-Cr계 비귀금속 합금은 금합금과 비슷한 열팽창계수를 가지므로 이의 대체 재료로 개발 되었고, 연성이 좋고 용점이 비교적 낮은 점과 또한 귀금속 합금에 비해 높은 강도와 경제적이라는 장점 때문에 치과도재 소부용 금속재료로 널리 이용되고 있다[3,4].

금속-도재의 결합력은 임상에서 성공과 실패의 요인으로 작용하고 있으며 결합방법으로는 기계적 결합, 화학적 결합, Van der Wall's force에 의한 결합(분자 간 인력 등에 의한 결합), 그리고 금속과 도재와의 열팽창계수의 차이에 의한 압축력에 의한 결합 등이 있으며 이런 결합이 복합적으로 작용하여 도재와 금속의 결합력이 결정 된다[5,6].

금속-도재의 결합강도는 기계적인 결합과 화학적인 결합으로 크게 둘로 나누어지며 대부분의 치과용 금속-도재용 합금은 금속의 산화막과 도재의 화학적 반응이 결합력에 중요하게 작용하게 되는데, 화학적 결합은 산화처리 과정이나 반복소성 과정 중금속의 표면에서 생성되는 금속의 부착성 산화막으로 금속과 도재 내부로 확산되어 도재 내 산화물과 공유결합이나 이온결합을 함으로써 이루어진다[7]. 그러나 산화막을 가지는 베릴륨을 함유하지 않는 금속-도재용 합금은 산화막이 너무 두껍거나 얇은 계면에서의 접착실패에 대한 저항성은 큰 것으로 알려져 있다.

1.1 치과용 도재 시스템 원리

도재용착구조관은 금속으로 내부구조물을 만든 후 금속색을 차단하는 불투명도재를 축성하여 소성시킨 후 각종 도재를 용착시켜 치아형태를 만드는 술식이다.

치과용 금속-도재용 합금은 금속의 산화막과 도재의 화학적 반응이 결합력에 중요하게 작용 한다[8].

1.2 베릴륨 비합유금속의 산화막 형성의 특성

비귀금속 금속-도재용 합금에 베릴륨이 2% 정도만 첨가 되어도 합금의 용융온도를 낮추고, 결정립의 크기를 미세화하며, 합금을 단단하게 하는 등의 장점이 있다.

베릴륨은 금속-도재용 Ni-Cr 비 귀금속 합금에 용융온도를 낮춰 주조성을 향상하기 위한 목적과 Ni, Cr의 산화를 조절하여 도재와의 결합력을 향상시키는 산화물을 형성한다고 보고되어 합금에 첨가되어 사용되어 왔고, 산화속도가 낮아 Ni-Cr-Be계 합금에서 산화피막의 박리를 막는 역할을 한다고 보고되었다[1].

BeO의 산화막은 금속-도재의 결합에 금속끼리의 밀착성을 도왔다. 산화막은 밀착성이 양호할 때 두껍게 형성되지 않고 결합력도 증가하므로 산화처리 과정의 유무에 관계없이 금속-도재 사이의 결합력에 큰 문제점 발생되지 않는다는 보고도 있다[9].

그러나 베릴륨은 분진을 흡입하였을 때 치명적인 폐질환을 일으킬 수 있는 독성이 매우 큰 금속으로 현재 국제암연구센터(IARC)에 의해 발암물질로 분류되어 있다.

베릴륨은 고체 상태에서는 안전하지만 casting, rolling, cutting, welding, sanding, polishing 등의 작업시 분진은 작업자를 위험에 노출시킬 수 있는 유해성이 알려지면서 베릴륨 미첨가 금속으로 급속히 전환되고 있다.

Carpenter[10]은 비귀금속 합금의 열팽창 계수에 의한 효과와 산화막 형성을 이용한 화학적 결합과 샌드블라스팅에 의한 불규칙한 표면 형성에 의한 기계적 결합에 대한 연구 논문을 보고하였고 정재관은[11] 기계적 결합을 증진시키는 방법으로 금속표면에 모래분사가 결합을 증진시킨다고 하였다.

베릴륨을 함유하지 않은 도재소부용 비귀금속 합금의 성공과 실패의 중요한 요인으로 항복강도, 탄성계수 및 열팽창계수 등만 아니라 열처리 과정 중에 발생하는 과도한 산화막 형성은 박리현상과 결합력을 저하한다고 보고되고 있지만, 산화막을 조절할 수 있는 방법이나, 대체 금속은 시판되지 않고 있는 실정이다[12].

Vickery[7]등은 베릴륨을 비합유한 금속-도재합금의 결합에 관한 이론으로 화학적 결합이 약 52%, 기계적 결합이 약 22%, 열팽창에 의한 압축력은 약 26%의 비율로 나타나며, 그 결합이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

본 연구는 베릴륨이 함유하지 않은 Ni-Cr계 합금으로 시편을 만들어 도재 용착 구조관의 전 과정을 통해서 성

공적 요인을 결합강도에 두고 결합력에 영향을 주는 방안에 대한 연구와 방안을 도출하였다.

첫째, 산화처리(degassing)의 시행에 따른 결합강도를 비교하였다.

둘째, 불투명 도재(opaque)를 paste 상태의 opaque와, powder 상태의 opaque를 이용하여 제작하였다.

셋째, 시편을 3점 굴곡 강도시험으로 결합강도를 측정하여 비교 실험하고 SEM/EDS 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 실험은 베릴륨을 함유하지 않음으로 결합력을 저해하는 요인인 과도한 산화막으로 인한 바리 등 금속과 도재의 결합강도를 증대할 수 있는 방법을 찾기 위해서 산화처리(degassing)와 wash opaque술식으로 금속시편을 25mm×3 mm×0.5 mm의 형상을 갖는 시편을 제작하였다. 시편의 크기는 디지털 마이크로미터로 ±0.01 mm의 정확도로 측정하였다.

본 실험에서 산화처리(degassing)와 산화처리(no degassing)를 거치지 않는 군과 사용이 편리하게 제조되어 시판한 paste 불투명 도재를 사용하는 군과 분말 불투명 도재에 opaque liquid를 혼합하여 paste상태로 만들어 wash처리 하여 도포, 소성 하는 군으로 분류하여 실험하였다.

소성된 시편은 3점 굴곡 시험으로 결합강도를 측정하고, SAM/EDS로 표면성분관찰 실험을 실시하였다.

2.2 실험군의 분류

반복 소성과정 중에 생성되는 과도한 산화층의 확산에 대해서 효과적으로 제한 할 수 있는 방법을 찾기 위한 실험으로 실험군 V1은 산화처리(degassing)과정을, 제조사의 지시에 따라 진공 상태에서 시행하여 각 금속시편의 중앙부에 paste opaque 불투명도재를 1, 2차로 나누어 도포, 소성하였다[Table 1].

실험군 V2는 산화처리 과정 없이 paste opaque상태의 불투명도재를 1,2차 도포, 소성하였다.

실험군 V3은 산화처리 과정을 제조사의 지시에 따라 진공 상태에서 시행하고, 분말 불투명 도재에 opaque liquid를 혼합하여, wash 상태로 도포, 소성한 후, 혼합

한 분말 불투명도재로 1,2차 로 나누어 도포, 소성하였다.

실험군 V4는 산화처리 과정 없이 분말 불투명 도재에 opaque liquid를 혼합하여, wash 상태로 도포, 소성한 후, 혼합한 분말 불투명도재로 1,2차로 나누어 도포, 소성하였다.

각 군당 Ni-Cr합금에 베릴륨 비 함유한 금속시편을 10개씩 모두 40개의 금속시편을 제작하였다[Table 2].

Table 1. Degassing treatment conditions for surface oxidation

	Low Temperature (°C)	Preheat Time (sec)	Heat Rate (°C/min)	Vacuum Level (cm/Hg)	Vacuum Release (°C)	High Temperature (°C)	Hold Time (min)
V1, V2	600	15	60	55	970	980	5

Table 2. Specimen groups by the firing method for the(flexure) bonding test

	V1	V2	V3	V4
1	degassing	non-degassing	degassing	non-degassing
2	Paste opaque	Paste opaque	powder opaque+liquide mix	powder opaque+liquide mix
3	1 st opaque	1 st opaque	wash opaque	wash opaque
4	2 st opaque	2 st opaque	1 st opaque	1 st opaque
5			2 st opaque	2 st opaque

불투명 도재(opaque porcelain)의 제작이 완료된 시편에 도재 축성은 분할형 금속 틀을 사용하여 Super porcelain EX-3 Noritake co의 Dentin powder를 전용 혼합액과 혼합하고 슬러리 상태에서 채운 후 초음파 응축기를 사용하여 수분을 티슈페이퍼로 흡착하여 분말이 균일한 두께를 이루게 하고, 도재와 금속의 변연부가 명확한 경계를 이루도록 하여 축성하였다. 축성방법은 붓과 축성 전용 기구를 이용하여 적층식 방법으로 쌓아 올려 도재의 층이 움직이거나 썩이지 않도록 하였다.[Fig 1].

925°C에서 930°C 사이에서 소성이 이루어 졌으며 이때 약 0.1MPa의 진공압 에서 이루어 졌다[Tabl 3].

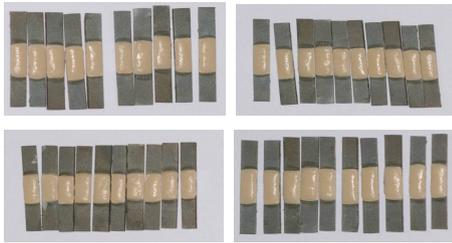


Fig. 1. Dental metal-ceramic specimens prepared in this study.

Table 3. Firing schedule degas, opaque & porcelains (Vacuum firing / 730mmhg)

	Low Temperature (°C)	Preheat Time (sec)	Heat Rate (°C/min)	Vacuum Level (cm/Hg)	Vacuum Release (°C)	High Temperature (°C)	Hold Time (min)
1st paste Opaque	500	8	65	73	979	980	1(with out vacuum)
2st paste Opaque	500	6	65	73	959	960	1(with out vacuum)
Wash Opaque	650	3	55	73	959	960	0
1st Powder Opaque	650	3	55	73	949	950	0
2st Powder Opaque	650	5	55	73	939	940	0
Dentin	600	6	45	73	929	930	0
Glazing	600	5	50	73	-	920	0

Super Pcelain Ex-3, Noritake Co., Japan, Lot #80925(Wash opaque), Lot #99702(Dentin).

2.3 강도측정

2.3.1 결합강도(3점 굴곡 시험)

Metal-ceramic 시편들의 결합강도는 ISO 9693에 따라 재료시험기(Instron 3344, Instron, Co., U.S.A.)에서 지점간 거리 20mm의 3점 굽힘 시험 장치를 이용하여 측정하였다[Fig. 2].

시편들은 포세린 층이 아래로 향하고 놓고 중앙에서 1.5 mm/min의 속도로 하중을 가하였다.

이때 금속으로부터 세라믹 층의 박리하중은 금속 층의 탄성계수에 따라 다르게 나타나나 최대 하중은 대부분 15 N 이하로 나타나므로 100 N의 정밀 로드 셀을 사용하였다.

금속과 도재의 분리는 도재층이 한쪽 끝에서 debonding 파절이 일어날 때까지 하중을 가하였다.

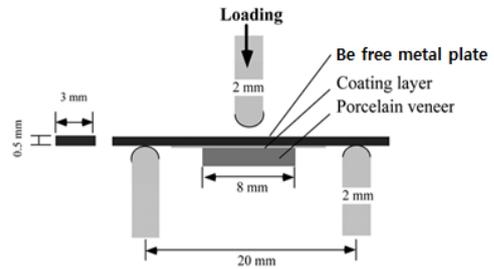


Fig. 2. Specimen and test configuration of ISO 9693 3-point bending test for metal-ceramic bonding strength.

2.4 시편 파단면 관찰

합금과 도재의 결합 계면에 형성된 산화막 과 계면을 관찰하기 위하여 탈락한 시편 균들을 카본 코팅 후 SEM/EDS(1455VP,LEO,Germany) 주사 현미경 (FE-SEM, JSM-6700F, Jeol, Tokyo, Japan/EDS, INCA x-sight 7421, Oxford Instruments, Oxfordshire. UK)으로 분석하였다.

반복 소성으로 형성된 SiO₂의 양으로 관찰되는 두꺼운 산화층이 V1, 2군에서 관찰 되는 양보다 V3, 4군에서 관찰되는 산화층이 낮게 나타나고 있는 것 역시 베릴륨 비함유 된 금속의 결합력은 산화막 두께 조절의 중요성을 나타내고 있으며, 불투명도재 도포 시 wash opaque 술식은 산화막을 줄여 줄 수 있는 이 실험결과와도 부합하는 것으로 보여주고 있다.



Fig. 3. Digital an electron microscope

2.5 통계처리

Degassing과정 후 형성된 산화막 량과 wash opaque 후 생성된 산화막량이 금속도재에 미치는 영향을 1,2차 opaque 소성 후 결합력과 유의차를 각 시편들의 결합강

도의 측정된 결과들은 통계적 유의성을 검증하기 위하여 통계 프로그램(SPSS Statistics 20.0, IBM, Chicago, IL, USA)를 이용하여 분석되었다.

일원배치 분산분석(one-way ANOVA)은 그룹 간의 차이를 검사하기 위해서 시행 되었다. 사후 검정(Tukey Honestly Significant Difference test)은 그룹 간의 통계적 차이를 비교하기 시행되었다. 통계적 유의수준은 0.05로 하였다.

3. 실험결과

베릴륨이 함유되지 않은 금속-도재용 Ni-Cr 합금과 세라믹 사이의 결합강도를 평가하기 위하여 3점 굽힘 시험(three-point bending test)을 수행하였다. 시편의 표면상을 성분분석을 얻기 위하여 주사 현미경(Scanning Electron Microscope: SEM)이 사용 되었고 주사현미경에 부착된 분산형 분광기(Energy Dispersive x-ray Spectroscopy: EDS)를 사용하여 구성 원소를 분석하였다. 결합강도 결과를 ISO 9693의 금속-도재간 최소 결합력인 25MPa를 이용하여 일원배치 분산분석 결과, V1군은 (32.37±1.91 MPa), V2군은 (38.25±1.38 MPa), V3군은 (46.43±2.14 MPa) 그리고 V4군은 (47.21±1.72 MPa) 순으로 산출되었고, 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Table 4-1 참조). 사후 검정 (Tukey's HSD test) 결과, 실험군 V4는 결합강도 실험결과 대조군 V1보다 높게 나타났다.[Table 5].

Table 4. Mean and standard variation of the bond strength(MPa) according to surface treatment MPa

Group	N	Mean*	Standard Deviation	Min	Max	95% CI	
						Lower	Upper
V1	10	32.37 ^{ab}	1.91	30.24	36.22	30.99	33.74
V2	10	38.25 ^b	1.38	36.68	40.64	37.26	39.25
V3	10	46.23 ^c	2.14	46.38	49.78	44.89	47.96
V4	10	47.21 ^c	1.72	44.97	50.26	45.97	48.44

#. Different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test(P<0.05).

Table 5. One-way anova results on the bond strength of all groups

	Sum of squares	Degree of freedom (df)	Mean squares	F-ratio	P-value
Inter-group	1500.587	3	500.196	151.628	0.001
Intra-group	118.758	36	3.299		
Sum	1619.345	39			

Table 6. SEM/EDS analysis (%)

Group	Element								
	C	O	Al	Si	Ti	Cr	Ni	Nb	Sn
V1	15.37	44.76	7.74	12.73	1.45	1.99	14.13	1.84	
V2	14.68	31.90	9.06	12.01	1.40	4.26	24.79	1.89	
V3	11.85	34.20	10.17	15.35	0.90	5.78	14.54	1.55	5.37
V4	12.33	38.55	3.39	20.15	0.80	2.33	8.72	0.81	7.02

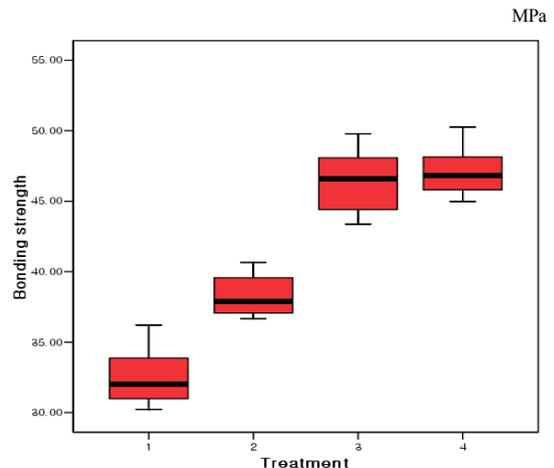


Fig. 4. Means and standard deviations of bond strength

4. 고찰

본 실험의 결과 합금과 도재의 결합 강도는 paste의 불투명 도재를 사용한 V1, V2보다 분말 불투명 도재를 wash opaque술식으로 도포, 소성한 V3, V4의 경우가 더 높게 나타나고 있다.

산화처리 과정을 시행한 V2와 V4가 V1과 V3보다 높게 나타났다.

3점 굴곡시험을 시행한 결합강도 비교 실험결과는 실험군 V1은 30.24 MPa에서 36.722MPa 사이로 나타났고, 실험군 V2는 36.68-40.64MPa, V3는 43.38-49.78MPa 그리고 V4는 44.97-50.26MPa로 나타났다.

이는 ISO 9693의 치과용 금속-세라믹 시편의 최소 결합강도의 최소치인 25 MPa로 규정하고 있는 것 보다 높았다. 이들에 대한 ANOVA분석에서 P value 값이 .005 이하이므로 4개의 군들 중 특정 군들 간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

군들 간의 유의성을 검증하고자 시행한 Tukey HSD 사후검정 시행에서는 V3과 V4에서만 유의성이 없었고, 나머지 실험군 간에는 유의성이 있었다(Tukey's HSD test($P<0.05$)).

산화처리의 목적 중 하나는 적절한 산화막 형성과 금속의 입자 재배열 형성에 있다고 보고되고 있다[13]. 도재용착주조관의 불투명 도재는 금속과 도재를 결합시켜 주는 역할과 금속의 색을 차단하여 도재의 색을 자연스럽게 해 주는 역할을 한다[14]. 금속과 도재의 결합강도에 관한 실험으로 산화처리와 불투명도재의 소성방법은 밀접한 관계가 있다. 본 연구결과 산화처리 한 시편은 산화막의 두께는 일률적이지만 두껍게 형성되고, 분말불투명도재는 paste상의 불투명도재 보다 wash opaque술식이 기계적 결합요소와 반복 소성으로 인한 산화층을 줄여 비교적 높은 결합강도를 나타내고 있었다.

산화처리 후 수용 할 만한 수준으로 적절한 산화막을 가지는 도재용 금속의 계면은 산화막이 너무 두껍거나 얇은 계면보다 접촉실패에 대한 저항성이 더 큰 것으로 알려져 있고, Table 6의 EDS 분석결과에서 V1군과 V2군에 도포한 paste 불투명 도재의 시편은 산소와 결합하여 형성된 NiO , $NiCr_2O_4$, SiO_2 , Cr_2O_3 등으로 관찰되는 두꺼운 산화층이 형성되고 있는 것도 원인으로 생각되며, 과도한 산화막의 형성은 금속-도재의 결합력을 저해하는 요인과 부분적 박리가 관찰되는 요인으로 사료된다. 그리고 분말 불투명 도재를 wash 상태로 도포, 소성한 V3군과 V4군에서 도재 쪽에는 Al, Sn, Si가 많이 분포하며, 합금에서는 Ni, Cr이 균일하게 분포되는 것이 보이며, 관찰되는 Al, Si, Sn 등은 시편 금속표면에서 형성된 산화물과 산화층을 형성하여 Ni_3Al , SiO_2 , SnO_2 등으로 결합에 기여하였을 것으로 예상된다. V3, V4의 결합강도가 더 높게 나타났다. paste의 불투명 도재 보다 wash opaque술식이 산화막의 증가를

억제하고, 산화막 표면과 결합하고 기계적 결합이 나타나 결합강도를 상승시켰을 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구에서는 베릴륨 함유하지 않은 Ni-Cr계 도재용 금속에 전용도재를 도포, 소성한 시편을 3점 굴곡 시험으로 결합강도를 측정하고, SAM/EDS로 표면성분관찰 실험한 AVOVA와 Tukey HSAD 사후검정을 실시한 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째. 모든 군에서 ISO 9693의 치과용 금속-도재 시편의 최소 결합강도의 최소치인 25 MPa로 규정하고 있는 것 보다 높았다.

둘째. 결합 강도는 대조군 V1은 32.37 ± 1.91 MPa으로 나타났고, 실험군V2 38.25 ± 1.38 MPa, 실험군 V3 46.43 ± 2.14 MPa, 그리고 실험군 V4 47.21 ± 1.72 MPa, 순으로 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 사후 검정 (Tukey's HSD test) 결과, 결합강도 실험결과 실험군 V4는, 대조군 V1보다 높게 나타났다.

셋째. 금속-도재의 결합에서 산화처리를 시행한 군보다 시행하지 않고 불투명 도재를 도포하고 소성한 군이 높게 나타났으며, paste불투명 도재보다 분말 불투명도재의 사용에 따른 결합강도가 더 높게 나타났다.

넷째. 실험군 V4는 금속과 도재의 결합강도 비교에서 가장 높게 나타났다.

결합강도 실험에 사용한 시편은 국제규격인 ISO 9693. Metal-ceramic dental restorative systems, 1999. 에 적용 하였기에 구강내 조건을 반영시키지 못하고 실험을 위한 형태로 제작 하였다는 한계점이 있다. 앞으로 구강내 조건과 유사한 상황의 재현에 따른 연구가 계속 되어야 할 것이다.

References

- [1] Moffa JP. "Alternative dental casting alloys. Dent Clin North Am", 27:733-46, 1983.
- [2] Grimaudo NJ. "Biocompatibility of nickel and cobalt dental alloys". Gen Dent, 49, 498-503, 2001.
- [3] Johnston JF, "Dykema RW, Cunningham DM. The use and construction of gold crowns with a fused porcelain

- vener”, A progress report. J, Prosthet Dent, 6:811-21, 1956.
- [4] Brecker SC. “Porcelain baked to gold a new medium in prosthodontics”, J Prosthet Dent, 6:801-10, 1956.
- [5] Knap FJ, Ryge G. Study of bond strength of dental porcelain fused to metal. J Prosthet Dent 1966;45:1047-51.
- [6] Shell JS, Nielsen JP. “Study of the bond between gold alloys and porcelain”. J Dent Res 41:14 24-37, 1962.
- [7] Vickery RC, Badinell LA. “Nature of attachment forces in porcelain-gold systems”, J Dent Res 47(5):638-698, 1968.
- [8] Anusavice K J, Cascone P ,Phillips' “Science of Dental Materials”, 11th ed., pp. 563-620, 2003.
- [9] Mackert, J R., Ringle, R. D., Parry, E. E., Evans, A. Land Fairhurst, C. W. "The relationship between oxide adherence and porcelain-metal bonding", J. Dent. Res., 67, 474-478, 1988.
- [10] Carpenter, M.A. and Good kind, R.J, “Effect of varying surface texture on bond strength of one semiprecious and one non precious ceramo-alloy”, J.P rostheth. Dent. 42:86-95, 1979.
- [11] Jae-Kwan Jung, Shear bond strength analysis of PFM metal and zirconia with different surface condition. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol 15, 7pp 4329-4335, 2014.
- [12] Choi E K. “Bond strength between dental porcelains and bas metal alloys - Influence of Be element and repeated firing”, Department of Oral Health Graduate School of Public Health and Dankook University, 2011.
- [13] Johnston, J.F., Mumford, G.and Dykema, R.W., “Modern practice in dental ceramics”, W.B. Saunders Co. p. 195, 1967.
- [14] A. S. Al-Jabob, “Low-melting Ternary Titanium Casting Alloy”, Ph. D. Dissertation at Northwestern University, Chicago, 1992.

임 중 재(Im, Joong Jae)

[정회원]



- 2011년 8월 : 평택대학교 사회복지대학원 (사회복지석사)
- 2013년 9월 : 호서대학교 벤처대학원 융합공학과 (박사과정)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공과 겸임교수

<관심분야>

치과보철, 치과재료, 융합공학

이 상 혁(Sang-Houck Lee)

[정회원]



- 1993년 8월 : 연세대학교 공학대학원 (공학석사)
- 1996년 8월 : 부산동아대학교 대학원 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처대학원 원장
- 2008년 4월 ~ 2010년 4월 : 국가연구 개발사업 (기획재정부) 상위평가위원

<관심분야>

환경보건학, 환경공학, 융합기술